

## ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физико-математических наук, профессора Брискина Евгения Самуиловича на диссертационную работу Крестовникова Константина Дмитриевича «Алгоритмы и программная система управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

**Актуальность темы исследования.** Диссертационная работа посвящена разработке модели, алгоритмов и программной системы управления группой гомогенных роботов с перераспределением энергетических ресурсов. Использование нескольких гомогенных или гетерогенных роботов для решения целевых задач дает преимущества в виде снижения затрат времени или расширения функциональных возможностей по сравнению с одиночным роботом. Ограниченный ресурс источника питания одного робота делает целесообразным использование подхода с перераспределением энергетических ресурсов внутри группы, так как позволяет снизить затраты времени, необходимые для возврата роботов к точкам пополнения запаса энергии, и расширить доступную рабочую область. Активное развитие направления требует совершенствования способов и решений в области энергетического обеспечения группы. С учетом перечисленного выше, эффективное перераспределение энергетических ресурсов внутри группы роботов является не только актуальной, но и очень интересной научно-технической задачей.

**Научную новизну диссертационной работы** составляют:

1. Математическая модель управления группой наземных роботов, учитывающая перераспределение энергетических ресурсов между роботами и оптимизирующая выполнение целевых задач.
2. Комплекс алгоритмов группового централизованного управления наземными роботами, реализующий перераспределение энергетических ресурсов на маршрутах между точками местоположения целевых задач при передвижении на открытом пространстве с переменным рельефом, обеспечивающий уменьшение общего времени выполнения целевых задач.

3. Архитектура программной системы управления группой наземных роботов, отличающаяся применением нескольких шин данных, осуществляющих соединение модулей системы управления группой роботов, модулей отдельного наземного робота и информационный обмен между ними; наличием модуля определения координат точек энергетического обмена между рабочим и заряжающим роботом.

**Теоретическая значимость работы** заключается в развитии научно-методического аппарата в области группового управления наземными роботами с перераспределением энергетических ресурсов. Решенная научно-техническая задача имеет важное значение для совершенствования подходов и технических средств группового управления роботами наземного и других сред базирования.

**Практическая значимость работы** состоит в расширении возможностей использования автономных мобильных роботов в составе групп. Предлагаемое алгоритмическое обеспечение и аппаратные решения позволяют снизить затраты времени на выполнение целевых задач, увеличить территорию функционирования группы, а также выполнять роботам более энергозатратные задачи.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы** подтверждается корректным использованием апробированного математического аппарата; соответствием результатов экспериментальных исследований выдвигаемым гипотезам, качественным и количественным результатам, полученным посредством имитационного моделирования; публикациями в научных рецензируемых изданиях высокого уровня (10 статей в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ по специальности диссертации категории К1 и К2; 8 публикаций в изданиях, индексируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science); сравнением разработанных решений с существующими аналогами и одобрением основных положений диссертационной работы на российских и международных научных конференциях.

Объем и содержание публикаций отражает **основные защищаемые положения диссертации:**

1. Математическая модель управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов.

2. Комплекс алгоритмов решения задачи группового централизованного управления наземными рабочими и заряжающими роботами при совместном функционировании.
3. Архитектура программной системы управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов.

**Структура диссертационной работы** соответствует цели исследования. Диссертация состоит из четырех глав, содержание которых структурировано и логически связано.

В первой главе диссертационной работы рассмотрены существующие подходы к управлению энергетическими ресурсами в группе наземных роботов, методы оптимального распределения сервисных и целевых задач, а также определения местоположений на маршрутах роботов для осуществления сервисного обслуживания.

Во второй главе представлена математическая постановка задачи, описывается разработанная математическая модель и алгоритмы функционирования группы наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов. Приведено описание параметров модели и их взаимосвязи, определены состояния функционирования роботов.

В третьей главе диссертации представлено описание разработанного аппаратного и алгоритмического обеспечения для реализации энергетического обмена между роботами группы. Рассматриваются оригинальные авторские алгоритмы управления и мониторинга параметров двунаправленной БСПЭ в составе распределенной системы управления робота. Приведены экспериментальные результаты тестирования разработанной системы и систематизированы ее эксплуатационные ограничения.

В четвертой главе представлено описание программной системы управления группой наземных роботов, отражены результаты экспериментальных исследований разработанного модельно-алгоритмического и аппаратного обеспечения.

В заключении диссертации представлены основные выводы и предложения, обобщающие результаты выполненного исследования, которые отражают достижение основной цели работы, даны направления дальнейшего развития исследования.

В тексте диссертации корректно приведены ссылки на авторов и источники, откуда заимствованы материалы или отдельные результаты выполненных исследований. Критических замечаний к качеству оформления диссертации и автореферата нет.

### **Замечания и недостатки диссертационной работы**

В целом существенные замечания по содержанию диссертации отсутствуют. Однако, было бы полезно сопоставить разработанные алгоритмы организации движения при решении известных, уже классических задач, например, при решении транспортной задачи. Одно из отличий от транспортной задачи у автора состоит в распределяемом ресурсе (у автора энергии), количестве и изменяемом расположении мест пополнения ресурсами, неограниченном запасе ресурсов в определенных местах.

Было бы также очень интересно получить ответ на вопрос об оптимальном, по тому или иному критерию, соотношении между количеством заряжающих роботов и роботов, совершающих полезную работу.

Так же очень важной является задача о прокладке трассы, с учетом не только перепада высот, но и наличия непреодолимых препятствий, требующих обхода, физико-механических свойств опорной поверхности и характеристик робота по маневренности и проходимости.

### **Заключение**

Диссертационная работа Крестовникова Константина Дмитриевича «Алгоритмы и программная система управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов» является самостоятельной завершенной научно-исследовательской квалификационной работой, в которой решена важная научно-техническая задача повышения эффективности управления группой роботов за счет перераспределения энергетических ресурсов.

Автореферат в полной мере отражает содержание работы. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей. Все основные результаты диссертации получены автором лично, апробированы, опубликованы и внедрены в научную и учебную деятельность.

Диссертационная работа «Алгоритмы и программная система управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов» обладает новизной, теоретической и практической значимостью, соответствует всем требованиям Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023), а её автор, Крестовников Константин Дмитриевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

**Официальный оппонент:**  
профессор кафедры «Динамика и прочность машин» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

04.03.2024

**Брискин Евгений Самуилович**

Докторская диссертация защищена по научной специальности: 01.02.01 – «Теоретическая механика»  
Адрес места основной работы: 400005, г. Волгоград,  
пр. имени В.И. Ленина 28, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»  
Рабочий телефон: +7 (8442) 24-81-13  
Эл. почта: dtm@vstu.ru